ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 30 AVRIL 1917.

PRÉSIDENCE DE M. A. D'ARSONVAL.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS
DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. le **Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts** adresse ampliation du Décret qui porte approbation de l'élection que l'Académie a faite de M. **Quénu** pour occuper, dans la Section de Médecine et Chirurgie, la place vacante par le décès de M. *Ch. Bouchard*.

Il est donné lecture de ce Décret.

Sur l'invitation de M. le Président, M. **Quénu** prend place parmi ses Confrères.

M. le **Président** souhaite la bienvenue à M. *Lecointe*, directeur de l'Observatoire d'Uccle, correspondant du Bureau des longitudes, qui assiste à la séance.

MÉCANIQUE DES SEMI-FLUIDES. — *Hypothèses fondamentales de la mécanique des masses pulvérulentes*. Note de M. **J. Boussinesq**.

I. Les lois mécaniques généralement admises par les physiciens et les ingénieurs, relativement aux massifs pulvérulents comme est notamment un tas de sable, me paraissent trouver leur explication naturelle dans les principes suivants :

1° Il existe pour chaque *particule* d'un tel massif (composée d'une multitude de grains sablonneux), du moins quand on la conçoit isolée de ses voisines, un *état naturel* dans lequel aucune action ne s'exerce entre ses grains, chacun n'étant alors soumis qu'à la pression atmosphérique, mais

uniquement pour son propre compte ou sans action des grains entre eux.

2° La particule peut éprouver, à partir de cet état naturel, *d'invisibles* contractions d'ensemble, moyennement pareilles en tous sens, capables d'y produire entre les grains, à travers tous les éléments plans menés à son intérieur (mais localement et invisiblement déviés de manière à ne pas couper les grains), et par unité d'aire de ces éléments plans, une pression normale commune p, que nous appellerons sa *pression moyenne*. Les grains seront d'ailleurs assez peu compressibles, pour que la compression cubique (ou *dilatation cubique* négative) de la particule, correspondant à cette pression p, échappe à nos mesures ou soit regardée comme négligeable dans les calculs qu'on a ordinairement en vue.

3° La particule comporte, en outre, de *petites* déformations d'ensemble *beaucoup plus sensibles* ne modifiant pas (en moyenne) sa densité, réductibles à trois *dilatations* (ou contractions) *principales* ∂_1, ∂_2, ∂_3 suivant trois directions rectangulaires, dilatations corrélatives à des roulements limités des grains les uns devant les autres et à l'existence, sur les éléments plans de la particule respectivement perpendiculaires à ces directions, de trois *pressions principales* P_1, P_2, P_3, censées positives ou comptées positivement (en raison d'une habitude des mécaniciens géomètres) quand ce sont des *tractions*, mais, en réalité, *toujours négatives* ou *pressions proprement dites*, dans les milieux *sans cohésion* considérés.

Par suite, et d'après les lois générales, bien connues, des pressions dans tous les corps, la moyenne arithmétique de ces trois forces principales P_1, P_2, P_3 n'est autre que la pression moyenne même p, changée de signe; en sorte que les déformations *un peu sensibles* dont il s'agit, qui modifient la figure, mais non d'une manière appréciable le volume, de la particule, paraissent y inégaliser les trois pressions principales P_1, P_2, P_3 sans changer leur moyenne $-p$. Il leur correspond assurément des déformations des grains inégales dans les divers sens et véritablement productrices des différences $P_1 - P_2$, $P_2 - P_3$, mais invisibles comme la contraction cubique à laquelle est dû p.

4° Le massif pulvérulent, à grains sans actions mutuelles quand s'annulent $-P_1$, $-P_2$, $-P_3$ et leur moyenne p, acquiert, au contraire, dès que cette pression p devient positive, une *rigidité*, ou une résistance au glissement mutuel moyen des couches contiguës, proportionnelle à p; ce qui revient à dire, comme on sait, que le rapport des différences $P_1 - P_2$, $P_2 - P_3$ aux doubles différences correspondantes, $2(\partial_1 - \partial_2)$, $2(\partial_2 - \partial_3)$, des dilatations, admet une expression commune mp, où m désigne un

coefficient *unique*, caractérisant la matière pulvérulente considérée, *prise à son degré effectif de tassement*.

5° Si chaque particule, à part, comporte, pour la densité qu'elle a, un *état naturel* où s'annulent P_1, P_2, P_3 avec leur moyenne $-p$, ainsi que les déformations ∂_1, ∂_2, ∂_3, et à partir duquel ∂_1, ∂_2, ∂_3 restent insensibles, quel que devienne p, pourvu que P_1, P_2, P_3 conservent leur égalité, il n'en est généralement pas de même d'un massif entier, qu'on forme d'ordinaire en déposant et superposant peu à peu, en un même endroit, des couches sablonneuses ou terreuses qui se tassent à mesure et irrégulièrement sous leur propre poids ou sous leur choc; en sorte que des particules contiguës ainsi déformées, si on les portait à l'état naturel en les isolant, prendraient des figures incapables de se juxtaposer ensuite ou de constituer un massif d'apparence continue.

II. Toutefois, quand il s'agit (et c'est le cas ordinaire) d'étudier des *déformations planes*, où toutes les couches minces parallèles à un plan vertical des xy sont déformées de même en restant dans leurs plans respectifs, il convient d'admettre aussi, à titre d'hypothèse la plus simple et la première à examiner, que chaque particule de ces couches a perdu son état naturel par des déformations analogues, ou sans sortir de son plan, et pareilles pour toutes les particules juxtaposées suivant une normale à ce plan. Par suite, si l'on amenait une telle particule, en l'isolant de ses voisines, à son état naturel, puis de cet état à celui qui est effectivement le sien, ces changements se feraient par de pareilles déformations la laissant dans son plan et déplaçant de la même manière, dans leurs plans respectifs parallèles, les particules alignées en file perpendiculaire à ces plans.

Ceux-ci seraient dès lors, pour les phénomènes étudiés, des plans de symétrie sur lesquels s'exercerait une *pression principale*, que nous supposerons être P_3; et, de plus, à partir de l'état naturel, la dilatation correspondante ∂_3 serait nulle. La densité n'ayant guère changé ou la dilatation cubique, qui est *sensiblement* $\partial_1 + \partial_2 + \partial_3$, se réduisant à zéro *environ*, on aurait donc $\partial_1 + \partial_2 = 0$, c'est-à-dire une valeur positive pour ∂_1, par exemple, et, à très peu près, la valeur négative contraire pour ∂_2. Dès lors, la double égalité

$$\text{(1)} \qquad \frac{P_1 - P_2}{2(\partial_1 - \partial_2)} = \frac{P_2 - P_3}{2(\partial_2 - \partial_3)} = mp$$

prend (vu $\partial_3 = 0$ et ${}_2 = -\partial_1$) la forme

$$\text{(2)} \qquad \frac{P_1 - P_2}{4\partial_1} = \frac{P_2 - P_3}{-2\partial_1} = mp$$

et donne

$$P_1 - P_2 = 2(P_3 - P_2) \quad \text{ou} \quad P_3 = \frac{1}{2}(P_1 + P_2).$$

Donc la pression moyenne p, ou $-\frac{1}{3}(P_1 + P_2 + P_3)$, devient

$$-\frac{1}{3}\,\frac{3}{2}(P_1 + P_2) = -\frac{1}{2}(P_1 + P_2) = -P_3.$$

Ainsi, la troisième pression principale P_3, celle qui est normale au plan des déformations, égale, au moins dans l'hypothèse la plus naturelle (par laquelle il convient de commencer), la moyenne arithmétique des deux premières, et *représente*, au signe près, la pression moyenne p. Enfin, les équations (2) donnent, en y remplaçant p par $-\frac{1}{2}(P_1 + P_2)$,

$$\frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1} = 2m\partial_1. \tag{3}$$

Cette relation, où P_1 et P_2 sont négatifs, signifie, d'après les formules générales des pressions dans tous les corps, que, si l'on considère l'élément plan de la particule *sur lequel s'exerce la pression la plus oblique*, ou pour lequel est maximum le rapport de la composante *tangentielle* $\mathcal{T}$ de la pression à sa composante *normale* $(-\mathcal{N})$, cet élément superficiel a sa propre normale dans le plan des déformations (c'est-à-dire des deux dilatations principales *extrêmes* ∂_1, ∂_2), où se trouve aussi la pression la plus oblique, et que l'angle de ces deux droites (*normale* et *pression*), dont la tangente est $\frac{\mathcal{T}}{(-\mathcal{N})}$, a pour sinus $\frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1}$, c'est-à-dire $2m\partial_1$.

III. Or l'analogie, d'une part, des deux couches sablonneuses en contact que sépare cet élément superficiel, avec deux solides tendant à glisser l'un contre l'autre, et, d'autre part, de la composante tangentielle $\mathcal{T}$ au frottement mutuel de pareils solides sous une pression normale $(-\mathcal{N})$, porte à leur étendre la loi usuelle du frottement des solides, d'après laquelle le rapport de $\mathcal{T}$ à $(-\mathcal{N})$ ne saurait dépasser le *coefficient du frottement mutuel des corps*, ou la tangente de leur *angle* φ *de frottement*, sans amener entre eux un *glissement effectif* ou *fini*, c'est-à-dire, ici, cette instabilité du mode d'agrégation des grains de sable, ou de la *contexture* des particules, qu'on appelle l'*état ébouleux* du massif.

Donc, le produit $2m\partial_1$ atteindra tout au plus la valeur $\sin\varphi$ et rendra dès lors *imminente* la désagrégation de la particule, par glissement mutuel fini des couches que sépare l'élément plan supportant la pression la plus oblique.

Autrement dit, la dilatation principale positive ∂_1 comporte, pour chaque espèce de matière pulvérulente, une *limite supérieure* Δ, exprimée par la formule

$$\Delta = \frac{\sin\varphi}{2m}, \tag{4}$$

et qu'on peut appeler la *limite d'élasticité* de cette matière pulvérulente; car elle est analogue à la limite d'élasticité d'un solide.

On déduit aisément de là que l'angle φ *de frottement intérieur* est aussi *l'angle de terre coulante*, savoir, le plus grand que puisse faire avec l'horizon, à l'état de repos ou sans s'ébouler, la surface libre d'un *talus plan indéfini* de la matière considérée, se soutenant sous son propre poids.

IV. Jusqu'ici, dans la particule sablonneuse de densité donnée, c'est-à-dire *tassée* jusqu'à un certain point ou parvenue à une homogénéité et une isotropie moyennes la rendant désormais beaucoup plus déformable que compressible, je me suis contenté d'admettre, à titre de *postulatum fondamental*, une *rigidité proportionnelle à la pression moyenne p*. Mais, en ne craignant pas d'entrer dans quelques détails, il serait préférable de supposer développables par la formule de Mac-Laurin, en séries rapidement convergentes, les pressions principales P_1, P_2, P_3, fonctions des dilatations également principales ∂_1, ∂_2, ∂_3 (comptées maintenant à partir de l'état naturel). On obtiendrait ainsi :

1° D'une part, la pression moyenne p, jusqu'aux termes du second degré inclusivement, sous la forme

$$p = a\theta + b\theta^2 + c[(\partial_2 - \partial_3)^2 + (\partial_3 - \partial_1)^2 + (\partial_1 - \partial_2)^2], \tag{5}$$

où θ désigne la dilatation cubique

$$\theta = (1 + \partial_1)(1 + \partial_2)(1 + \partial_3) - 1 = \partial_1 + \partial_2 + \partial_3 + \partial_2\partial_3 + \partial_3\partial_1 + \partial_1\partial_2;$$

car la parité d'expression de p en $\partial_1, \partial_2, \partial_3$ n'y permettrait que trois termes, respectivement en $\partial_1 + \partial_2 + \partial_3$, $\partial_1^2 + \partial_2^2 + \partial_3^2$, $\partial_2\partial_3 + \partial_3\partial_1 + \partial_1\partial_2$, et, par suite, *trois* coefficients distincts, comme sont a, b et c.

2° D'autre part, les trois différences (*actions déformatrices*) $P_2 - P_3$, $P_3 - P_1$, $P_1 - P_2$, jusqu'aux termes du troisième degré inclusivement, ou, ce qui revient au même, jusqu'aux termes du second degré leurs rapports aux *déformations* correspondantes $\partial_2 - \partial_3$, $\partial_3 - \partial_1$, $\partial_1 - \partial_2$. En effet, la première, par exemple, $P_2 - P_3$, censée exprimée au moyen de ∂_1, $\partial_2 + \partial_3$ et $\partial_2 - \partial_3$, change visiblement de signe avec $\partial_2 - \partial_3$, ou en est fonction

impaire et se trouve divisible par cette dernière variable. Le rapport correspondant, pareil en ∂_2 et ∂_3, ne comporte dès lors que les six termes en $\partial_2+\partial_3$, ∂_1, $\partial_2^2+\partial_3^2$, $\partial_2\partial_3$, $(\partial_2+\partial_3)\partial_1$, ∂_1^2, ou *six* coefficients distincts, et peut s'écrire

$$a'\theta+b'\theta^2+c'[(\partial_2-\partial_3)^2+(\partial_3-\partial_1)^2+(\partial_1-\partial_2)]^2+(a''+b''\theta)\,\partial_1+c''\partial_1^2.$$

Les deux autres rapports s'en déduisant, il vient en tout la formule triple

$$(6)\quad \left(\frac{P_2-P_3}{\partial_2-\partial_3},\frac{P_3-P_1}{\partial_3-\partial_1},\frac{P_1-P_2}{\partial_1-\partial_2}\right)=a'\theta+b'\theta^2+c'[(\partial_2-\partial_3)^2+(\partial_3-\partial_1)^2+(\partial_1-\partial_2)^2] +(a''+b''\theta)(\partial_1,\partial_2,\partial_3)+c''(\partial_1^2,\partial_2^2,\partial_3^2).$$

Mais l'annulation identique de la somme des trois différences P_2-P_3, P_3-P_1, P_1-P_2 oblige d'abord à poser

$$(7)\qquad c''=0.$$

Puis le fait que des déformations quelconques $\partial_2-\partial_3$, $\partial_3-\partial_1$, $\partial_1-\partial_2$ se produisent parfois sans amener aucune pression sensible dans la particule pulvérulente, quand la *contraction cubique* $-\theta$ est assez faible par rapport à ∂_1, ∂_2, ∂_3, prouve que, dans ces circonstances où θ^2 et même les produits de θ par ∂_1, ∂_2, ∂_3 sont négligeables devant θ, les formules (5) et (6) deviennent

$$a\theta+c[(\partial_2-\partial_3)^2+(\partial_3-\partial_1)^2+(\partial_1-\partial_2)^2]=0,$$
$$a'\theta+c'[(\partial_3-\partial_3)^2+(\partial_3-\partial_1)^2+(\partial_1-\partial_2)^2]+a''(\partial_1,\partial_2,\partial_3)=0;$$

ce qui oblige à poser, outre (7),

$$(8)\qquad a''=0 \quad \text{et} \quad \frac{a'}{a}=\frac{c'}{c}=\text{une même constante } 2m.$$

Dès lors, les phénomènes étudiés le plus habituellement se faisant sans contractions cubiques $(-\theta)$ qui soient comparables à ∂_1, ∂_2, ∂_3, on peut encore, même *quand la pression moyenne p est très sensible*, y négliger, à côté de θ, non seulement θ^2, mais aussi les produits de θ par ∂_1, ∂_2, ∂_3. Les seconds membres des trois équations (6) se réduisent ainsi à $2mp$. Et il vient, au lieu de (6) et (5),

$$(8)\quad \begin{cases} P_2-P_3=2mp(\partial_2-\partial_3), \quad P_3-P_1=2mp(\partial_3-\partial_1), \quad P_1-P_2=2mp(\partial_1-\partial_2), \\ p=a\theta+c[(\partial_2-\partial_3)^2+(\partial_3-\partial_1)^2+(\partial_1-\partial_2)^2]. \end{cases}$$

En résumé, cette démonstration plus complète continue à indiquer *une*

rigidité mp proportionnelle à la pression moyenne p. Mais la pression moyenne n'est pas simplement en raison directe de la *contraction cubique* $(-\theta)$, comme il aurait semblé naturel de le penser; elle s'accroît d'une partie proportionnelle à la somme des carrés des trois *déformations principales* $\partial_2 - \partial_3$, $\partial_3 - \partial_1$, $\partial_1 - \partial_2$. Celle-ci est-elle purement théorique? L'observation pourrait seule, sans doute, nous l'apprendre.

MÉTÉOROLOGIE. — *Les violentes canonnades peuvent-elles provoquer la pluie?* Note de M. le Général **Sebert.**

Dans notre dernière séance M. Deslandres a entretenu l'Académie d'une question controversée, celle de l'influence possible des canonnades violentes sur la chute de la pluie.

Il a rappelé un certain nombre de faits qui peuvent justifier la croyance que de fortes pluies, qui sont arrivées au cours ou à la suite de grandes batailles célèbres, ont été provoquées par les canonnades échangées au cours de ces batailles.

Ces faits se rapportent tout au moins à des phénomènes atmosphériques locaux et M. Deslandres s'est demandé si ces phénomènes ne trouveraient pas leur explication dans une ionisation de couches atmosphériques voisines, provoquée par le frottement des projectiles et de leurs éclats ou même par l'afflux des gaz chauds émis par les bouches à feu ou par les explosions de projectiles et de mines.

Il fait remarquer que la chute de la pluie ne paraît d'ailleurs pouvoir être déterminée par ces causes accidentelles que si l'air se trouve déjà, dans la région intéressée, dans un état de saturation, tel que la condensation de la vapeur d'eau qu'il renferme soit facile à provoquer.

Mais il signale aussi que pour élucider complètement la question il serait nécessaire de réunir des données précises, dans chaque cas particulier, sur les circonstances dans lesquelles les phénomènes ont été observés et notamment sur les conditions locales et générales de l'atmosphère et sur l'importance et l'étendue des chutes d'eau observées.

Je voudrais compléter, sur certains points, l'étude de cette question qui présente une grande complexité et à laquelle les circonstances actuelles donnent un intérêt particulier.

La Communication de M. Deslandres vise surtout des actions locales et a laissé un peu de côté les effets qui peuvent avoir été produits aussi à grande distance, comme cela peut avoir eu lieu par l'effet de courants

gazeux, entraînés par les vents régnants, mais ayant leur origine dans la région affectée par les canonnades.

M. Lemoine a signalé aussi, au cours de la même séance, que les pluies locales, ainsi déterminées par les canonnades, ne semblent pouvoir être que des pluies de faible durée et non des pluies prolongées pouvant entraîner des inondations.

On peut se demander cependant si, par suite de l'intensité formidable qu'ont prise, dans ces derniers temps, les canonnades échangées sur toute l'étendue du front occidental, il n'y a pas eu production corrélative, même à grande distance, de perturbations atmosphériques ayant pu, dans certains cas, amener des pluies violentes et prolongées.

Différentes remarques que je rappelle ci-après et que j'emprunte à une Note que j'avais préparée, il y a quelque temps déjà, pour chercher à appeler l'attention sur cette question controversée, semblent indiquer que ces canonnades ont pu avoir aussi une influence sensible sur des perturbations atmosphériques se propageant dans des directions variées et qui se sont étendues parfois fort loin des localités où se produisirent les tirs d'artillerie ou les explosions de mines qui les ont engendrées.

Des faits insolites, souvent observés, depuis le commencement de la guerre, tout au moins depuis le moment où la guerre de tranchées a pris une grande intensité, ont contribué à faire naître, chez beaucoup de personnes, en France, la conviction que les violentes canonnades provoquent des pluies inattendues.

On a souvent, en effet, observé, en différents lieux, de brusques changements de temps que la marche du baromètre ne faisait pas prévoir. Des pluies abondantes sont survenues souvent, à l'improviste, en succédant brusquement à des jours de soleil et de beau temps, sans que rien ne vînt les annoncer.

On a, pendant la période d'hiver, constaté des inversions de températures difficilement explicables, les froids et les chutes de neige se manifestant plutôt dans la région méridionale de la France que dans la région du Nord et s'étendant même en Espagne et en Algérie.

On a constaté, enfin, des irrégularités nombreuses dans les phénomènes météorologiques locaux des différentes régions de notre pays.

Ces faits semblent étendre à des régions éloignées l'action de perturbations insolites et répétées, dont on ne voit facilement l'origine que dans les événements, également insolites, que constituent les opérations de la guerre actuelle et il est naturel de rapprocher ces deux ordres de phénomènes.

En laissant de côté les observations rappelées par M. Deslandres, à

propos des chutes de pluies locales survenues à la suite des grandes batailles, ces mêmes faits ont remis en mémoire des controverses qui ont défrayé, il y a un certain nombre d'années, les chroniques scientifiques de notre pays et qui ont laissé même leurs traces dans nos *Comptes rendus*.

On sait que, sous le deuxième Empire, un pharmacien de Saint-Brieuc, M. Le Maout, qui avait aussi appelé l'attention sur lui par quelques autres singularités, avait cru pouvoir établir la réalité de ce fait que les violents tirs d'artillerie provoquent souvent à grande distance des chutes de pluie abondantes.

Au moment de la guerre de Crimée, alors que par suite de l'absence de communications télégraphiques, les nouvelles des engagements ne pouvaient parvenir que tardivement en France, il prétendait même pouvoir, par l'observation des pluies survenues à Saint-Brieuc, annoncer quelques jours à l'avance que des batailles violentes devaient avoir eu lieu en Crimée.

Il eut la chance d'annoncer ainsi au Ministre de la Guerre la bataille d'Inkermann et l'attaque de Sébastopol, et ces incidents, qui lui donnèrent une certaine notoriété, lui permirent d'obtenir que des expériences officielles fussent entreprises pour rechercher si vraiment les tirs d'artillerie pouvaient provoquer la pluie.

Ces expériences, qui ne purent naturellement être exécutées dans des conditions analogues à celles qui se présentent lors des grandes batailles et de façon à permettre des observations à distance, mirent seulement en évidence le fait que mentionne la Communication de M. Deslandres, à savoir que, lorsque l'air est saturé de vapeur d'eau, une commotion violente, comme celle que produisent les détonations d'armes à feu ou les explosions de mines, suffit pour provoquer la condensation de la vapeur d'eau et, par suite, une chute locale de pluie.

M. Le Maout n'en continua pas moins à rattacher les chutes de pluie qu'il observait aux batailles lointaines qui pouvaient avoir lieu à cette époque et, lors de la campagne d'Italie, il persistait encore, avec plus ou moins de succès, à annoncer quelques jours à l'avance, d'après ses observations, les engagements qui avaient dû se produire en Italie.

Les faits allégués par M. Le Maout, s'ils étaient avérés, ne pouvaient évidemment s'expliquer qu'en admettant que les perturbations atmosphériques provoquées par les violentes canonnades peuvent être transmises à grandes distances, dans certaines directions et probablement par des courants d'air ou de gaz se propageant dans les régions supérieures de l'atmosphère.

Cette explication n'a rien d'inadmissible si l'on se rappelle que pendant longtemps, après la violente explosion du Krakatoa, des troubles notables restèrent visibles, en Europe même, dans les régions supérieures de l'atmosphère.

On est donc, semble-t-il, comme on l'a fait plusieurs fois, dans ces derniers temps, en droit de formuler l'opinion que, tout au moins, les pluies qui se sont produites à l'improviste, en divers lieux et qui se sont succédé souvent avec une fréquence inexplicable, étaient provoquées par les canonnades violentes échangées sur le front.

A différentes reprises, les journaux officieux se sont efforcés de combattre cette croyance. Ils s'appuyaient sur de prétendues considérations scientifiques et ils invoquaient l'opinion des Services compétents qui ont pu déclarer que rien ne vient justifier la croyance en question, car les observations météorologiques officielles ne mettent en évidence aucun fait probant à l'appui.

Les moyennes observées pour les pluies ou pour la température seraient, en effet, sensiblement restées les mêmes que les années précédentes et elles ne font pas ressortir, dans les phénomènes météorologiques, des variations qui puissent faire soupçonner des perturbations provoquées par les tirs d'artillerie.

Pour justifier leur opinion, les personnes qui font autorité en la matière s'appuient notamment sur ce fait que l'atmosphère du globe présente une masse considérable, comparée à celle des afflux de gaz que peuvent lancer les canons ou les mines, dont les explosions pourraient être aussi invoquées, comme élément de perturbation atmosphérique et que, par suite, ces différentes causes de perturbation ne peuvent provoquer que des effets insignifiants sur l'ensemble de l'atmosphère.

Mais, en y réfléchissant, on peut se demander si c'est bien ainsi que la question doit être envisagée.

Il ne s'agit pas, en effet, de la mise en mouvement de la masse entière de l'atmosphère ou même seulement d'une portion étendue de cette masse.

Ne peut-on pas admettre que des tirs violents d'artillerie ou des explosions fortes et nombreuses produisent des courants de gaz et d'air chaud ascendants qui, en s'élevant au-dessus de la région où ont lieu ces tirs ou ces explosions, viennent déplacer des volumes notables d'air froid dans les couches élevées de l'atmosphère.

Ne peut-on pas supposer que cet air froid doit être entraîné, à une certaine distance, dans une direction variable, suivant le vent qui règne à ce

moment et que, dès lors, il peut provoquer, en certains endroits, des chutes de pluie, lorsqu'il rencontre, sur son trajet, des couches d'air plus chaudes et saturées d'humidité.

On ne se trouve pas dans un cas où il y ait lieu de considérer un déplacement général de l'atmosphère, mais dans un cas analogue à celui qu'on observe lorsque, dans une cuvette d'eau, par exemple, on détermine de simples déplacements de filets liquides, en provoquant des agitations locales dans la masse fluide, ou même dans un cas analogue à celui que provoque, en petit, dans l'atmosphère, la marche de certaines cheminées d'usines.

Pour vérifier l'exactitude de l'hypothèse ainsi formulée, il suffirait de noter les lieux où se sont produits, d'une part, à certains jours, de violentes canonnades, ainsi que ceux où, d'autre part et à peu de temps de distance, on a observé des pluies régionales, de caractère insolite, en recherchant en même temps, si possible, quelle pouvait être la direction des vents régnant alors dans les couches élevées de l'atmosphère.

Pour faire, après coup, des recherches de cette nature, en utilisant les observations locales qui ont pu être notées en différents lieux et les rapprochant des principales luttes d'artillerie qui peuvent être connues, il faudrait pouvoir rechercher, dans les Bulletins météorologiques, les directions des vents régnants aux dates correspondant à ces données; malheureusement, depuis la guerre, on a supprimé, dans les Bulletins du Bureau météorologique de Paris, la publication des indications concernant la direction du vent et des pressions barométriques, dont la connaissance aurait pu fournir à nos ennemis des renseignements utiles pour les incursions des aérostats.

Ce seraient donc seulement les météorologistes officiels qui pourraient, dans leurs archives restées secrètes, trouver les données voulues pour faire les investigations qui permettraient de vérifier l'hypothèse qui précède.

Ce serait là d'ailleurs un long travail que le personnel peu nombreux, attaché au Bureau météorologique, n'aurait pas le temps d'effectuer et l'on ne peut que regretter que le défaut de publication des Bulletins météorologiques complets ne permette pas, pour entreprendre ce travail, de faire appel au concours d'observateurs bénévoles, qui pourraient disposer, peut être, de loisirs suffisants, pour mener à bien une besogne de ce genre.

Si ce travail pouvait être entrepris systématiquement, il ne serait pas téméraire de penser qu'il pourrait amener d'heureuses conséquences en ouvrant la voie à suivre pour déduire, des observations météorologiques

actuelles, des données nouvelles utilisables pour les prévisions qu'on peut formuler, au sujet des perturbations atmosphériques, d'étendue restreinte, susceptibles d'affecter des localités déterminées.

Il n'est pas interdit de penser qu'on peut aujourd'hui, en utilisant les observations combinées de la direction du vent et de la pression barométrique, relevées en des stations données d'une région déterminée, établir la carte des mouvements atmosphériques dans cette région, et tracer sur la carte de cette région, la direction des courants et des vents, en chaque point, au moment de l'observation.

Dans des ouvrages remarquables qu'il a publiés, il y a plusieurs années déjà, sous le titre de *Géométrie des feuillets* (1). M. René de Saussure, l'un des descendants du premier explorateur du Mont Blanc, a fait connaître une méthode qui, en partant du tracé des courbes isobares, complétées par l'indication de la direction du vent pour les différentes stations d'observation, permet de tracer, sur une carte météorologique, les courbes représentatives des mouvements de l'atmosphère, faisant connaître la direction du vent, en chaque point, à la date des observations.

Il a reproduit un exemple intéressant de ces cartes météorologiques d'après un tracé établi par les soins de M. Jean Bertrand, ingénieur belge, et qui a paru d'abord dans le Bulletin de la Société belge d'Astronomie. Ce tracé indiquait l'état de l'atmosphère, à la date du 16 octobre 1886, pour l'Europe et l'Océan Atlantique, et il mettait en évidence l'existence, à ce jour, de deux centres cycloniques remarquables : l'un de minimum, l'autre de maximum de pression.

Cet exemple s'appliquait à une grande étendue de l'atmosphère, mais on peut admettre que les mêmes méthodes de tracés pourraient permettre d'établir aussi des cartes météorologiques, de moindre étendue et à plus grande échelle, qui pourraient donner des indications plus utiles encore.

Ces cartes pourraient étendre aux services agricoles de certaines régions les prévisions que permettaient déjà d'établir les cartes moins complètes que publiait, avant la guerre, le Bureau météorologique, mais qui n'étaient guère utiles qu'aux navigateurs.

Il paraît possible de songer aujourd'hui à entreprendre systématiquement des travaux de ce genre, pour l'étude et l'enregistrement des perturbations

---

(1) Voir notamment : René de Saussure, *Exposé résumé de la géométrie des feuillets; Nouvelle géométrie de l'espace, etc.* Genève, imprimerie Albert Kundig; 1910.

locales qui peuvent intéresser spécialement certaines régions, au point de vue agricole et ainsi pourrait se trouver réalisé complètement le programme qu'avaient envisagé les promoteurs de la création des services météorologiques dans notre pays.

Pour permettre la réalisation de ce projet, il reste à souhaiter que les pouvoirs publics, se rendant compte de l'importance que peut présenter, pour l'agriculture de notre pays, la connaissance de renseignements de ce genre, mettent à la disposition de nos bureaux météorologiques et de nos stations agronomiques le personnel nécessaire pour leur permettre d'effectuer régulièrement la recherche de ces renseignements.

Ce ne serait pas une des conséquences les moins imprévues de la guerre actuelle si les études faites pour la détermination des effets accidentels produits dans l'atmosphère par les tirs d'artillerie conduisaient ainsi au développement de nos services météorologiques et à la réalisation de progrès dans la publication de documents utiles à notre pays.

BIOLOGIE GÉNÉRALE. — *Des antiseptiques réguliers et irréguliers.* Note de MM. **Charles Richet**, **Henry Cardot** et **Paul Le Rolland**.

I. Nous nous sommes posé une question qui jusqu'à présent n'avait pas, à notre connaissance, été abordée encore, à savoir : quelles sont les variations d'activité d'une fermentation quand on opère dans des conditions qui paraissent identiques [1].

Autrement dit, le même liquide de culture est réparti par quantités égales dans un assez grand nombre de tubes identiques, toutes conditions d'ensemencement et de température étant aussi égales que possible. Au bout du même temps on dose la quantité d'acide lactique formé dans chaque tube. Si l'on prend la moyenne de cette acidité, quel est, pour chaque tube, l'écart de la moyenne ? et quel est l'écart moyen de la moyenne ?

Soient 100 tubes dont l'acidité moyenne est A.

L'écart moyen absolu est ε : c'est la moyenne arithmétique des écarts.

---

[1] Nous n'avons étudié la question que sur un seul bacille lactique. Mais on peut supposer que des organismes aussi similaires que le sont les Bactériacées vivent suivant des lois qui ne sont pas fondamentalement différentes, de sorte que les données obtenues sur un seul bacille comportent, probablement, en même temps qu'une certaine spécification, une généralisation très étendue.

Cet écart moyen absolu, divisé par l'acidité moyenne A, nous fournit un nombre auquel nous donnerons le nom *d'écart moyen relatif* (1).

Ce nombre, important à considérer, caractérise la plus ou moins grande régularité avec laquelle pousse le même ferment dans les divers tubes d'un même lot.

Des expériences nombreuses ont été faites, où les conditions de température, d'acidité finale, d'ensemencement, de doses antiseptiques, ont été variables. Nous donnerons d'abord la moyenne globale des écarts relatifs.

Conditions du milieu.	Écart moyen relatif.	Nombre de dosages.
En milieu normal (témoins)............	0,089	1387
En présence d'azotate de thallium.......	0,195	414
En présence de bichlorure de mercure...	0,162	886

II. Ainsi, avec les sels de mercure et de thallium, l'écart moyen relatif est beaucoup plus fort qu'avec les témoins.

Afin de rendre plus saisissante encore l'extrême irrégularité des écarts de la moyenne en présence du sublimé, nous donnerons tous les nombres se rapportant à une de nos expériences, dans laquelle l'écart a été très grand.

Dans les tubes témoins et dans les tubes contenant $0^{g},02$ par litre de $HgCl^2$ il s'agissait du même liquide de culture. L'ensemencement, la culture et le dosage ont été faits dans des conditions identiques pour les deux séries. La quantité de liquide fermentescible était de 10^{cm^3}, et le dosage était fait, en présence de la phénolphtaléine, par une solution de KOH à $1^{g},46$ par litre. Les nombres indiqués représentent les centimètres cubes de la solution potassique nécessaires à la neutralisation.

---

(1) Dans une expérience préliminaire nous avons ajouté de l'acide lactique à une masse de petit-lait rendu infermentescible par l'addition d'un excès de créosote. Après diverses opérations analogues aux opérations faites sur des petits-laits fermentescibles, c'est-à-dire après répartition en tubes, chauffage à l'autoclave, séjour à l'étuve, nous avons constaté au dosage que les écarts obtenus, dus uniquement aux erreurs expérimentales, sont négligeables vis-à-vis de ceux que l'on rencontre lorsqu'il y a eu fermentation.

Tubes témoins.		Tubes au sublimé.	
cm³	cm³	cm³	cm³
24,8	22,6	27,2	3,5
24,6	22,5	20,1	3,2
24,5	22,0	16,6	2,7
24,4	21,6	12,8	1,9
24,3	21,6	12,3	1,3
24,2	21,1	8,0	1,3
24,0	21,1	7,9	1,0
23,9	20,9	6,6	0,4
23,7	19,0	5,4	0,4
23,6	17,5	4,5	0,3
23,3	16,6	4,4	0,3
		3,8	0,0
		3,6	

	Tubes témoins.	Tubes au sublimé.
Acidité moyenne...........	22,35	6,01
Écart moyen absolu........	1,80	5,10
Écart moyen relatif........	0,08	0,83

Ces nombres montrent en toute évidence la grande variabilité du croît (de zéro à un nombre très supérieur à celui de n'importe quel témoin) pour les liqueurs contenant du sublimé, tandis que le lot des témoins présente une bonne homogénéité.

III. Avec certains antiseptiques, en particulier avec le fluorure de sodium, les résultats obtenus ont été tout autres.

La moyenne de l'écart moyen relatif, résultant de 432 dosages, a été de 0,066, alors que pour les témoins cet écart moyen relatif était de 0,090. Par conséquent, avec le fluorure de sodium, non seulement l'écart moyen n'est pas supérieur, mais encore il est inférieur à celui des témoins.

Ajoutons que, pour ces derniers, la valeur moyenne globale de l'écart est relativement constante, pourvu, bien entendu, qu'elle se rapporte à un lot d'expériences nombreuses et assez variées quant à la phase de la fermentation à laquelle a été effectué le dosage. Par exemple, trois séries de tubes témoins, à savoir : 434 témoins des expériences au bichlorure de mercure, 589 témoins des expériences à l'azotate de thallium, 283 témoins des expériences au fluorure de sodium ont donné respectivement des écarts relatifs de 0,098, 0,091 et 0,084, c'est-à-dire des nombres peu différents. Un autre lot de 72 tubes témoins a donné 0,081.

Le chlorure de magnésium se comporte comme le fluorure de sodium. L'écart moyen relatif pour 325 tubes contenant cet antiseptique a eu une valeur moyenne de 0,063, moindre par conséquent que celle des témoins.

IV. On peut chercher à serrer de plus près les faits fournis par l'expérience, en considérant, non plus la valeur globale de l'écart relatif, mais ses variations en fonction de l'acidité atteinte au moment du dosage.

Le Tableau ci-dessous résume les résultats obtenus, soit en l'absence de tout antiseptique, soit en présence de bichlorure de mercure ou de fluorure de sodium :

Acidité en centimètres cubes de la solution potassique.	Valeur moyenne de l'écart relatif.		
	Milieu normal (témoins).	Milieu additionné de bichlorure de mercure.	Milieu additionné de fluorure de sodium.
De 0$^{cm^3}$ à 5$^{cm^3}$	0,174	0,408	0,068
De 5 à 10	0,114	0,203	0,064
De 10 à 20	0,076	0,119 } 0,103	0,066
De 20 à 50	0,064	0,039 }	

A l'inspection de ces nombres, deux remarques s'imposent de façon formelle :

1° A acidité égale, l'écart relatif est presque constamment plus grand en présence de mercure qu'en milieu normal; il est au contraire, pour les tubes à fluorure de sodium, nettement inférieur à celui des normaux.

2° Aussi bien en milieu normal qu'en présence de bichlorure de mercure l'écart relatif décroît quand l'acidité augmente. Pour les acidités fortes, supérieures à 20$^{cm^3}$ de la solution de dosage, il est faible dans tous les cas, et la divergence entre témoins, tubes à sublimé et tubes à fluorure, disparaît à peu près complètement.

Les faits qui viennent d'être exposés font bien ressortir le contraste qui se marque, au moins dans les premières phases de la fermentation, entre l'action en quelque sorte régularisante du fluorure de sodium et les extrêmes irrégularités de la croissance en présence des sels de mercure ou de thallium.

V. Une opposition analogue apparaît si l'on aborde par un tout autre côté la question des antiseptiques.

Nous avons recherché quelle est, pour diverses substances, la dose nécessaire pour obtenir une action antiseptique donnée, soit une diminution du croît de 50 pour 100 par rapport au croît des témoins. Même en prenant toutes les précautions possibles pour assurer la constance du milieu de culture, de la semence utilisée, de la température de l'étuve, cette dose varie d'une expérience à l'autre : il ne paraît donc pas que l'on puisse faire une telle détermination avec une bien grande précision.

Mais, fait important à constater, les résultats obtenus sont infiniment plus irréguliers avec certains antiseptiques qu'avec d'autres.

Ainsi, dans une vaste série d'expériences sur le fluorure de sodium, la dose produisant une diminution de croît de 50 pour 100 a oscillé autour d'une valeur moyenne de 0,2 pour 1000, les deux valeurs extrêmes étant 0,05 et 0,79 pour 1000. Pour le phénol, la marge de variation s'est étendue de 0,44 à 1,38 pour 1000; pour le chlorure de magnésium, de 2 à 28 pour 1000. Dans ces trois cas, les oscillations ont été assez amples, sans doute, mais du moins les nombres obtenus renseignaient-ils d'une façon à peu près satisfaisante sur l'ordre de grandeur de la dose en question.

Au contraire, avec le bichlorure de mercure, les résultats des diverses expériences, d'ailleurs fort nombreuses, sont assez disparates pour interdire toute détermination correcte d'une moyenne : dans une expérience, la dose donnant un croît de 50 pour 100 a été de 0,0004 pour 1000; dans une autre de 0,0300 pour 1000! Même irrégularité avec l'arséniate de soude car alors la dose passe de 0,0001 à 0,0400 pour 1000.

VI. Nous ne tenterons pas ici d'interpréter les faits expérimentaux qui viennent d'être signalés; il faudrait, pour le faire, tenir compte d'un ensemble complexe de conditions que nous étudions et sur lesquelles nous nous réservons de revenir ultérieurement. Car c'est pénétrer ainsi dans une des plus graves questions de biologie générale et d'hérédité. Disons seulement qu'il paraît possible de dissocier les antiseptiques en deux groupes, selon que leur action est régulière ou irrégulière, et qu'il y aurait peut-être intérêt, au point de vue de la pratique chirurgicale, à employer surtout ceux dont l'action est très régulière, et dont le fluorure de sodium fournit un exemple typique.

Nous présenterons prochainement la liste des antiseptiques réguliers et irréguliers, classés d'après la grandeur de l'écart moyen, classement qui introduit un élément nouveau, inconnu jusqu'à présent, parce qu'on ne l'avait pas recherché encore : la régularité dans l'action antiseptique.

M. B. **Baillaud**, en présentant le 4e cahier des *Travaux de l'Observatoire de Marseille*, attire l'attention de l'Académie sur cet important catalogue, élaboré par M. Esmiol, des 546 nébuleuses découvertes et observées à Marseille de 1869 à 1885 par M. Stephan, alors directeur de l'Observatoire. Ces observations avaient été publiées dans divers recueils. M. Esmiol en a formé un catalogue rapporté à l'équinoxe de 1900,0. Ce catalogue, précédé de la réduction des observations, est suivi des descriptions des nébuleuses par M. Stephan et de la comparaison de la plupart des observations de M. Stephan avec celles de M. Bigourdan.

« Ce catalogue, écrit M. H. Bourget, met bien en évidence l'activité de l'Observatoire dans les années qui ont suivi sa fondation; il témoigne de l'excellence du miroir sorti des mains de Foucault et fait regretter que l'État n'ait pu encore donner les crédits nécessaires à la monture métallique de cette belle pièce d'optique. »

GÉOLOGIE. — *Les dépôts quaternaires marins de la région de Bône et de La Calle (Algérie)*. Note (1) de MM. **Ch. Depéret** et **L. Joleaud**.

Le littoral de Bône offre, depuis le cap de Fer jusqu'à la frontière algéro-tunisienne, une remarquable série de lambeaux quaternaires marins affectant le faciès de *panchinas*, c'est-à-dire de grès tendres à menus graviers de quartz et débris de coquilles, cimentés par un ciment calcaire jaunâtre. Nous les étudierons en allant de l'Ouest à l'Est.

1° *Herbillon*. — Un peu à l'est du cap de Fer, le village d'Herbillon est construit en partie sur une pente de *panchina* quaternaire plongeant vers la mer sous un angle de 45° environ et disparaissant sous le rivage actuel. Le lambeau, exploité comme pierre à bâtir, tapisse, sur une dizaine de mètres d'épaisseur, le flanc de la falaise granitique et s'élève jusqu'à la cote maximum de 94^m. L'existence d'une ancienne ligne de rivage vers cette altitude est prouvée par deux faits : la transformation du falun marin en un calcaire travertineux continental à *Helix* dans la partie la plus haute

(1) Séance du 16 avril 1917.

de l'affleurement, et la disposition brusquement plus abrupte de la falaise granitique à partir de la cote 94. On doit conclure à une ancienne ligne de rivage comprise entre 94^m et 100^m.

La *panchina* des carrières d'Herbillon contient de nombreuses coquilles marines, toutes de petite taille, et le plus souvent fragmentées et roulées. Nous avons pu cependant y reconnaître les espèces suivantes :

Nassa reticulata L., *Rissoa cimex* L., *Rissoa lineata* Risso, *Rissoa costata* Adanson, *Amycla corniculum* Olivi, *Odostomia excavata* Phil., *Bittium lacteum* Phil., *Triforis perversus* L., *Fissurella italica* Defr., *Venus ovata* Penn., *Mactra subtruncata* Da Costa, *Nucula nucleus* L., *Arca lactea* L.

Des recherches suivies accroîtraient beaucoup cette liste, composée d'espèces toutes vivantes dans la Méditerranée, et dont aucune n'est caractéristique d'un Quaternaire aussi ancien. C'est la reproduction, avec un faciès identique, du falun marin du cap Ferrat que l'un de nous a observé jusqu'à l'altitude de 85^m au moins sur la côte niçoise.

La *panchina* d'Herbillon contient en outre des *Helix* du groupe des *Iberus* avec une *Succinea* du groupe *debilis*, et l'on y rencontre assez souvent des ossements de Mammifères terrestres. Nous y avons recueilli une extrémité articulaire de côte et des fragments de bassin d'un très gros herbivore, probablement du genre *Hippopotamus*.

2° *Cap de Garde.* — Une formation quaternaire marine, de faciès identique à celle d'Herbillon, se retrouve, avec un développement plus important, au nord de Bône, où elle a été exploitée en petites carrières depuis l'époque romaine. Elle repose tantôt sur les cipolins primaires, tantôt sur les gneiss. Son extension a été indiquée, assez inexactement d'ailleurs, par M. Seligman-Lui sur la feuille Bône-Bugeaud de la Carte géologique d'Algérie (1905). Là, comme à Herbillon, la *panchina* quaternaire tapisse irrégulièrement le flanc très incliné de la pente gneissique, depuis le rivage actuel où elle disparaît sous les eaux de la Méditerranée, jusqu'à la cote 93^m, au-dessus du marabout de Sidi-Naouh. En ce point, elle couronne le sommet des gneiss et domine par une petite falaise abrupte (où se creuse une grotte) le rivage nord très escarpé et sauvage du cap de Garde. De même qu'à Herbillon, le falun marin passe à sa partie supérieure à des limons et à des travertins rougeâtres à *Helix*, d'origine continentale, qui finissent par former une simple croûte travertineuse, s'élevant un peu plus haut que le grès marin. Ici également, on est amené à admettre

l'existence d'une ancienne ligne de rivage à une altitude comprise entre 93^m et 100^m.

Non loin de la bifurcation du chemin du sémaphore et de celui qui mène au cap de Garde, on observe, *au-dessous* de la *panchina* marine, une épaisse couche de limon rouge de décalcification, attestant une *phase négative*, avec un important abaissement de la ligne de rivage, immédiatement antérieure à la *phase positive* qui a amené la ligne de rivage jusqu'à l'altitude d'environ 100^m. Par contre, d'autres couches de limons rouges et de travertins continentaux à *Helix* et *Rumina* recouvrent en certains points le grès marin, et sont bien visibles notamment dans les fossés de la batterie du fort Génois. Ces formations continentales sont la preuve d'une nouvelle phase négative importante qui a succédé immédiatement au dépôt des grès marins du niveau de 100^m. Les oscillations de la ligne de rivage se montrent ainsi dans cette région, avec une netteté des plus remarquables.

La *panchina* du cap de Garde renferme des coquilles marines, le plus souvent réduites à de menus fragments roulés. Deshayes ([1]) y a signalé : *Cardium edule*, *Corbula mediterranea*, *Rissoa Montagui*, *Trochus tessellatus*. Le général de Lamothe ([2]) y indique *Cardita calyculata*. Nous y avons nous-mêmes recueilli, près de la grotte de Sidi-Naouh, *Bittium lacteum*, *Thecidea papillata*, ainsi que des débris de Balanes et de Bryozoaires. C'est là, comme à Herbillon, une *faune méditerranéenne banale*, sans aucune espèce caractéristique du vieux Quaternaire.

On observe en outre au cap de Garde, soit dans le falun marin, soit dans les travertins rouges qui le recouvrent, de nombreuses coquilles terrestres, dont M. Pallary ([3]) a donné la liste suivante :

Leucochroa candidissima Drap., *Helix pachya* Bourg., *H. tetragona* Mor., *H. subcantiana* Bourg., *H. variabilis* Drap., *H. Rozeti* Mich., *H. Milsomi* Hagenm., *H. trochlea* Pfeif., *H. conoidea* Drap., *H. acuta* Müll., *Buliminus pupa* Brug., *Cyclostoma sulcatum* Drap.

M. Pallary fait remarquer que deux de ces espèces, *Helix Milsomi* et

---

([1]) Deshayes, *in* Bourguignat, *Paléontologie des Mollusques terrestres et fluviatiles de l'Algérie*, 1862, p. 34.

([2]) De Lamothe, *Les anciennes lignes de rivage du Sahel d'Alger* (*Mém. Soc. géol. de France*, 4e série, t. I, n° 6, 1911, p. 206).

([3]) Pallary, *Les Mollusques fossiles terrestres, fluviatiles et saumâtres de l'Algérie* (*Mém. paléontol. Soc. géol. de France*, t. IX, fasc. 1, 1901, p. 52).

H. subcantiana, sont éteintes, ce qui entraîne ce naturaliste à considérer à tort la formation marine du cap de Garde comme pliocène et non quaternaire. Il s'agit en réalité d'un Quaternaire extrêmement ancien (Sicilien).

Une curieuse forme, que nous avons observée dans la *panchina* du ravin au nord du fort Génois, est une *variété à carène très prononcée* de l'*Helix trochlea* Pfeiffer, que M. Bourguignat a figurée (*Malacologie de l'Algérie*, pl. 32, *fig.* 18) sans la nommer et que nous proposons de désigner comme variété régionale *Gardensis*. Il est intéressant de constater que cette même variété continue de vivre abondamment sur les pentes sud du sémaphore du cap de Garde, point où elle est tout à fait spéciale. C'est un curieux exemple de *localisation* géographique très étroite d'une forme d'*Helix* depuis le début des temps quaternaires.

Comme à Herbillon, la *panchina* du cap de Garde contient aussi des ossements de grands Mammifères terrestres : dans un petit ravin très étroit qui débouche abruptement au rivage au nord du fort Génois, nous avons observé en place dans le grès marin plusieurs os des membres à peu près entiers d'un *Elephas* que l'absence de molaires ne permet malheureusement pas de déterminer.

Avant de terminer cette description des dépôts marins du cap de Garde, il nous paraît intéressant d'appeler l'attention sur le mode de formation de ces *panchinas* d'Herbillon et du cap de Garde, qui tapissent l'une et l'autre des pentes très fortes depuis l'altitude 95^{m} jusqu'au niveau du rivage actuel et probablement plus bas. Ce dépôt de grès coquillier littoral s'est évidemment formé, tel qu'il est aujourd'hui, sur cette pente raide, qui n'est autre chose que l'*ancien fond sous-marin* de deux baies quaternaires du temps de la ligne de rivage de 100^{m}. C'est ainsi que se présenteraient sans doute les dépôts marins actuels de cette côte profonde et abrupte, si la ligne de rivage venait à s'abaisser encore d'une centaine de mètres.

Mais l'altitude des dépôts quaternaires marins du cap de Garde ne se limite pas à la ligne du rivage de 93^{m}-94^{m}. Nous avons observé en effet, à l'altitude de 143^{m}, dans le col qui sépare les deux mamelons cotés 162 et 187, un petit lambeau de *panchina* marine, avec débris de Bryozoaires et de Lamellibranches, contenant de nombreux grains et même un gros galet anguleux de quartz blanc. Ce lambeau indique l'existence d'une deuxième ligne de rivage encore plus élevée que la première, mais dont l'altitude maximum ne peut être déterminée avec la même précision. Cette ligne de rivage peut dater soit d'un Quaternaire très ancien soit plus probablement de la fin du Pliocène.

D'autre part, entre Bône et le cap de Garde, la côte, orientée Nord-Sud, présente toute une série de terrasses d'abrasion marine, sur lesquelles le général de Lamothe [1] a attiré l'attention. Nous avons observé nous-mêmes quelques-uns de ces plateaux légèrement inclinés vers la mer et parfois recouverts de cailloux de quartz, à des altitudes assez faibles; les chiffres de 30^{m} et de 20^{m} nous ont paru les plus constants : par exemple sur le bord de la baie des Corailleurs et au mouillage du fort Génois. Nous n'avons rencontré aucun dépôt marin en relation avec ces terrasses qui surplombent directement la mer et dont l'origine marine n'est pas douteuse.

3° *Littoral entre Bône et La Calle.* — Des lambeaux discontinus de dépôts marins quaternaires se rencontrent sur divers points, de Bône à la frontière tunisienne.

Au cap Rosa, un dépôt littoral, comparable à ceux d'Herbillon et du cap de Garde et comme eux fortement incliné vers la mer, s'élève jusqu'à la côte 90^{m}, où des dunes le recouvrent.

Entre La Calle et l'embouchure de la Messida, un dépôt identique, qui renferme des Bryozoaires (*Myriozoum punctatum*), remonte jusqu'à 101^{m}. Il se montre également incliné vers la mer et couronné par des limons rouges et des tufs, qui présentent les mêmes Mollusques terrestres que les dépôts similaires du cap de Garde.

Ce nouveau dépôt littoral se continue vers l'Ouest jusqu'à La Calle, où il a été activement exploité et où il est, comme ailleurs, recouvert par des tufs à *Helix*. Aux environs du village, il offre une succession de terrasses d'abrasion dont les plates-formes se montrent vers 48^{m} à l'est du Belvédère, vers 33^{m} au poste du Marin, vers 20^{m} à la gare de La Calle.

A la Vieille-Calle ou Bastion de France, le dépôt quaternaire peut être suivi jusqu'à la cote 53 ; c'est lui sans doute qui forme un peu plus au Sud le substratum des dunes dont le point culminant est à 87^{m}. Au déversoir du lac Melah, il n'atteint que la cote 32. Entre le cap Rosa et Bône, il forme, le long du littoral, un abrupt de 20^{m} de hauteur moyenne, que couronnent des dunes d'une importance variable. Vers la même cote, un dépôt analogue existe aussi à l'Est, de La Calle à la frontière algéro-tunisienne.

Il semble que la faiblesse des altitudes des plages de la Vieille-Calle, du lac Melah, etc., qui ne dépassent pas 53^{m}-48^{m}, 33^{m}-30^{m} et 20^{m}, soit due à

---

(1) De Lamothe, *loc. cit.*, p. 206.

l'action de l'érosion : les gradins que ces plages forment ainsi correspondraient à des terrasses d'abrasion entaillées dans les grès qui ailleurs (La Calle, cap de Garde, etc.) s'élèvent jusqu'à 90m-100m.

Conclusions. — De ce qui précède il résulte que la ligne de rivage la plus constante, entre Herbillon et La Calle, serait celle de 90m-100m, qui, par son altitude, correspond d'une façon remarquable au *Sicilien* de Palerme ([1]). Il est probable qu'il convient de rattacher au Pliocène supérieur, comme formation un peu antérieure, le niveau marin de 143m observé près du cap de Garde.

Le fait que, partout dans notre région, le dépôt littoral de 90m-100m est incliné vers la mer et se prolonge jusque bien au-dessous du niveau actuel de celle-ci, est une preuve que son dépôt s'est continué lors du mouvement négatif considérable, qui a immédiatement suivi l'époque où la ligne de rivage était à 90m-100m ([2]).

Au surplus, les niveaux des lignes de rivage et des terrasses d'abrasion reconnus dans la région de Bône correspondent très sensiblement avec ceux observés dans le Sahel d'Alger ([2]) et sur la côte niçoise ([3]), comme le montre le Tableau ci-après :

([1]) GIGNOUX, *Les formations marines pliocènes et quaternaires de l'Italie du Sud et de la Sicile* (*Thèse Fac. Sc. Lyon et Ann. Univ. Lyon*, nouvelle série, t. 1, fasc. 36, 1913, p. 182).

([2]) L. JOLEAUD, *Géologie et Paléontologie de la plaine du Comtat et de ses abords* Description des terrains quaternaires, fasc. 1 (*Mém. Soc. Linn. Provence*, n° 2, 1910, p. 15 et suiv.); *Étude géologique de la chaîne numidique et des monts de Constantine* (*Algérie*) (*Thèse Fac. Sc. Paris*, 1912, p. 302 et suiv.); *Contribution à l'étude du synchronisme des phénomènes quaternaires au nord et au sud de la Méditerranée occidentale* (*Bull. Soc. Linn. Provence*, t. 1, 1912, p. 223 et suiv.).

([3]) DEPÉRET et CAZIOT, *Note sur les glissements pliocènes et quaternaires des environs de Nice* (*Bull. Soc. géol. France*, 4e série, t. 3, 1903, p. 321). — DEPÉRET, *Les anciennes lignes de rivage de la côte française de la Méditerranée* (*Ibid.*, 4e 2érie, t. 6, 1906, p. 207). — DE LAMOTHE, *loc. cit.*

	Altitudes comparées des lignes de rivage.		
	Région de Bône.	Sahel d'Alger.	Côte niçoise.
Cap de Garde	143^m	148^m	»
Herbillon, cap de Garde, cap Rosa, la Messida	90-100^m	103	85^m au moins
Le Belvédère de La Calle, Vieille-Calle	48-53	60	55-60^m
Fort Génois, poste du Marin de La Calle, déversoir du lac Melah	30-33	31	28-30
Anses du fort Génois et des Corailleurs, gare de La Calle, littoral entre le cap Rosa et Bône.	20	18	13 au moins

GÉOMÉTRIE. — *Sur les réseaux* O *de Monge dans un espace d'ordre quelconque.* Note de M. C. **Guichard**.

J'appelle *réseau* O de Monge un réseau O tel que la première tangente du réseau conserve une direction fixe quand on se déplace sur la seconde courbe du réseau. Les réseaux qui possèdent cette propriété dans l'espace ordinaire sont bien connus; ils généralisent les surfaces moulures de Monge. Je vais montrer comment on peut, dans un espace d'ordre quelconque, former de pareils réseaux. Ces réseaux sont des réseaux que j'ai appelés *réseaux* A. [Voir mes Notes *Sur quelques applications de la loi de parallélisme des réseaux et des congruences* et *Sur les réseaux qui correspondent au cas où la suite de Laplace est limitée dans un sens* (*Comptes rendus*, 1899, 1er semestre).] Je prendrai comme exemple un espace d'ordre 5, on verra facilement que le raisonnement s'applique à un espace d'ordre quelconque. Soient alors

$$M(X_1, X_2, \ldots X_5)$$

un point qui décrit un tel réseau et

$$\Delta = \begin{vmatrix} x_1 & x_2 & \ldots & x_5 \\ y_1 & y_2 & \ldots & y_5 \\ z_1 & z_2 & \ldots & z_5 \\ \xi_1 & \xi_2 & \ldots & \zeta_5 \\ \eta_1 & \eta_2 & \ldots & \eta_5 \end{vmatrix}$$

le déterminant orthogonal correspondant; on sait que dans le cas général

on a

$$(1)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial X_i}{\partial u} = h\xi_i, & \dfrac{\partial x_i}{\partial u} = a\xi_i, \quad \dfrac{\partial y_i}{\partial u} = e\xi_i, \quad \dfrac{\partial z_i}{\partial u} = g\xi_i, \quad \dfrac{\partial \xi_i}{\partial u} = n\eta_i, \\ \dfrac{\partial X_i}{\partial v} = l\eta_i, & \dfrac{\partial x_i}{\partial v} = b\eta_i, \quad \dfrac{\partial y_i}{\partial v} = f\eta_i, \quad \dfrac{\partial z_i}{\partial v} = k\eta_i, \quad \dfrac{\partial \eta_i}{\partial v} = m\xi_i \end{cases}$$

avec les relations

$$(2)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial h}{\partial v} = lm, \quad \dfrac{\partial a}{\partial v} = bm, \quad \dfrac{\partial e}{\partial v} = fm, \quad \dfrac{\partial g}{\partial v} = km, \\ \dfrac{\partial l}{\partial u} = hn, \quad \dfrac{\partial b}{\partial u} = an, \quad \dfrac{\partial f}{\partial u} = en, \quad \dfrac{\partial k}{\partial u} = gn, \\ ab + ef + gk + \dfrac{\partial m}{\partial v} + \dfrac{\partial n}{\partial u} = 0. \end{cases}$$

D'après la propriété supposée les ξ_i sont des fonctions de u seul, il en résulte que l'on a

$$n = 0,$$

et par suite les fonctions l, b, f, k sont des fonctions de v seul. Si maintenant on ferme l'expression

$$(3)\qquad \theta = \Sigma\, \xi_i \chi_i,$$

on aura

$$\frac{\partial \theta}{\partial v} = l\, \Sigma \xi_i \eta_i = 0,$$

θ est donc une fonction de u. Il en résulte que, si u reste fixe, le point décrivant, c'est-à-dire une deuxième courbe du réseau reste dans le 3-plan défini par l'équation (3). Quand u varie, ce 3-plan est le 3-plan osculateur d'une courbe Γ, et les premières courbes du réseau O sont des trajectoires orthogonales de ces trois plans osculateurs. De plus les fonctions l, b, f, k étant indépendantes de u, les deuxièmes courbes du réseau O possèdent une forme invariable.

Si l'on se reporte à mon Mémoire [*Étude des propriétés métriques des courbes dans un espace d'ordre quelconque* (*Bulletin des Sciences mathématiques*, 1912, p. 39)], on en déduit la construction suivante :

On prend dans un espace d'ordre 5 *une courbe quelconque* Γ, *soient* Ax *la tangente à la courbe*, Ay, Az, At *ses trois premières normales. On prend ensuite dans un espace d'ordre* 4 *une courbe* Γ' *dont les trois courbures sont les*

mêmes fonctions de l'arc que les trois premières courbures de Γ ; *soient* $A'x'$, $A'y'$, $A'z'$, $A't'$ *la tangente et les trois normales de* Γ'. *On prend en outre une courbe quelconque* C *dans l'espace d'ordre* 4. *On fait coïncider le* 4*-èdre* $Ax'y'z't'$ *avec le* 4*-èdre* $Axyzt$ *en considérant la courbe* C *comme invariablement liée au* 4*-èdre* $A'x'y'z't'$.

Les diverses positions de la courbe C *forment les deuxièmes courbes du réseau* O ; *les trajectoires des différents points de* C *forment les premières courbes de ce réseau.*

Soient alors $Y_1, Y_2, \ldots, Y_5$ les coordonnées de A ; Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 celles de A′. Je pose

$$(4) \qquad Y_6 = iZ_1, \qquad Y_7 = iZ_2, \qquad Y_8 = iZ_3, \qquad Y_9 = iZ_4.$$

L'égalité des arcs et des trois premières courbures sur les courbes Γ et Γ' donne les relations

$$(5) \quad \sum_1^9 \left(\frac{dY_i}{du}\right)^2 = 0, \quad \sum_1^9 \left(\frac{d^2Y_i}{du^2}\right)^2 = 0, \quad \sum_1^9 \left(\frac{d^3Y_i}{du^3}\right)^2 = 0, \quad \sum_1^9 \left(\frac{d^4Y_i}{du^4}\right)^2 = 0,$$

c'est-à-dire que le point $Y_1, Y_2, \ldots, Y_9$ décrit dans un espace d'ordre 9 une courbe 4 fois isotrope (*Bulletin des Sciences mathématiques, loc. cit.*). Les coordonnées Y_i sont des fonctions de u; je désigne maintenant par T_1, T_2, T_3, T_4 les coordonnées d'un point C; ces coordonnées sont des fonctions de v.

Je pose maintenant

$$(6) \qquad X_i = Y_i + p_1 \frac{dY_i}{du} + p_2 \frac{d^2Y_i}{du^2} + p_3 \frac{d^3Y_i}{du^3} + p_4 \frac{d^4Y_i}{du^4} \qquad (i = 1, 2, \ldots, 9).$$

Le point qui décrit le réseau O étant dans le 3-plan osculateur de la courbe Γ, ses coordonnées $X_1, \ldots, X_5$ ont la forme (6). De plus, la courbe C étant supposée liée invariablement, on aura

$$(7) \qquad T_1 + iX_6 = 0, \qquad T_2 + iX_7 = 0, \qquad T_3 + iX_8 = 0, \qquad T_4 + iX_9 = 0.$$

Ces équations déterminent p_1, p_2, p_3, p_4. On forme ainsi l'expression analytique des coordonnées du réseau O cherché.

Un raisonnement analogue conduit au résultat suivant pour un espace d'ordre n.

Pour former les réseaux O de Monge dans un espace d'ordre n, on prend dans un espace d'ordre $2n-1$ une courbe $n-1$ fois isotrope, dont les coordonnées $Y_1, \ldots, Y_{2n-1}$ sont des fonctions d'un paramètre u. On prend ensuite dans un espace d'ordre $n-1$ une courbe quelconque. Les coordonnées T_1, $T_2, \ldots, T_{n-1}$ d'un point de cette courbe étant des fonctions de v. Les coordonnées $X_1, \ldots, X_n$ du point qui décrit le réseau O sont de la forme

$$(8) \qquad X_i = Y_i + p_1 \frac{dY_i}{du} + \ldots + p_{n-1} \frac{d^{n-1} Y_i}{du^{n-1}},$$

$p_1, p_2, \ldots, p_{n-1}$ *étant déterminés par les équations*

$$(9) \qquad i T_k + Y_{n+k} + p_1 \frac{dY_{n+k}}{du} + \ldots + p_{n-1} \frac{d^{n-1} Y_{n+k}}{du^{n-1}} = 0 \qquad (k = 1, 2, \ldots, n-1).$$

HYDRAULIQUE. — *Au sujet des coups de bélier dans une conduite formée de trois sections de diamètres différents pour lesquelles la durée de propagation est la même.* Note [1] de M. DE SPARRE.

Les conduites formées de trois sections de diamètres différents sont, somme toute, assez rares, mais leur considération peut être très utile lorsqu'on veut se rendre compte de l'influence de la variation de l'épaisseur des tôles et de la vitesse de propagation qui en résulte sur le coup de bélier [2]. Je désigne par l, d, a la longueur, le diamètre et la vitesse de propagation pour la section voisine du distributeur; l', d', a' et l'', d'', a'' les mêmes quantités pour les deux autres sections; par $\lambda(t)$ le rapport de la surface ouverte du distributeur à l'instant t à celle correspondant à l'ouverture complète; par v_1 la vitesse de régime dans la première section pour le distributeur complètement ouvert; par y_0 la pression statique au distributeur en hauteur d'eau.

---

(1) Séance du 23 avril 1917.

(2) On a déjà eu recours dans ce but aux formules que j'ai données pour les conduites formées de deux sections de diamètres différents. Toutefois, on approche beaucoup plus de la réalité en considérant trois sections, d'autant plus que, dans la plupart des cas, les tôles ont une épaisseur à peu près constante sur une assez grande longueur, soit près de la prise d'eau, soit près du distributeur.

Je pose de plus

$$\theta = \frac{2l}{a}, \qquad \theta' = \frac{2l'}{a'}, \qquad \theta'' = \frac{2l''}{a''},$$

$$\alpha = \frac{a'd^2}{ad'^2}, \qquad \beta = \frac{a''d'^2}{a'd''^2}, \qquad \rho = \frac{av_1}{2gy_0},$$

et je suppose ici $\theta = \theta' = \theta''$.

En suivant alors la marche indiquée dans mes Communications du 26 décembre 1916 (t. 163, p. 959) et du 8 janvier 1917 (t. 164, p. 76), on trouve pour le coup de bélier $\xi(t)$ pendant la première période, où $t \leqq \theta$,

$$\xi(t) = 2\rho y_0 \frac{\lambda_0 - \lambda(t)}{1 + \rho\lambda(t)};$$

pour la seconde période, où $\theta < t \leqq 2\theta$, et en posant

$$\mu = \frac{1-\alpha}{1+\alpha},$$

on a

$$\xi(t) = 2\rho y_0 \frac{\lambda_0 - \lambda(t) - \mu[\lambda_0 - \lambda(t-\theta)]}{1+\rho\lambda(t)} - \xi(t-\theta)\mu\frac{1-\rho\lambda(t-\theta)}{1+\rho\lambda(t)};$$

pour la troisième période, où $2\theta < t \leqq 3\theta$, en posant de nouveau

$$\nu = \frac{1-\beta}{1+\beta},$$

on a

$$\begin{aligned}\xi(t) = {} & \frac{2\rho y_0}{1+\rho\lambda(t)}\left[\frac{4\lambda_0\alpha\beta}{(1+\alpha)(1+\beta)} - \lambda(t) + \frac{2\mu\beta}{1+\beta}\lambda(t-\theta) + \nu\lambda(t-2\theta)\right] \\ & - \frac{2\mu\xi(t-\theta)}{1+\rho\lambda(t)}\left[\frac{1}{1+\beta} - \frac{\rho\beta}{1+\beta}\lambda(t-\theta)\right] - \nu\frac{\xi(t-2\theta)}{1+\rho\lambda(t)}[1-\rho\lambda(t-2\theta)].\end{aligned}$$

Enfin pour $t > 3\theta$, donc pour toutes les périodes suivantes, on a

$$\begin{aligned}\xi(t) = {} & 2\rho y_0\left\{\lambda(t-3\theta) - \lambda(t) - \left[1 - \frac{4\alpha}{(1+\alpha)(1+\beta)}\right][\lambda(t-2\theta) - \lambda(t-\theta)]\right\} \\ & - \frac{1-\rho\lambda(t-3\theta)}{1+\rho\lambda(t)}\xi(t-3\theta) - \left[\frac{4}{(1+\alpha)(1+\beta)} - 1\right]\frac{\xi(t-\theta)+\xi(t-2\theta)}{1+\rho\lambda(t)} \\ & - \rho\left[1 - \frac{4\beta}{(1+\alpha)(1+\beta)}\right]\frac{\xi(t-\theta)\lambda(t-\theta) - \xi(t-2\theta)\lambda(t-2\theta)}{1+\rho\lambda(t)},\end{aligned}$$

formules qui s'appliquent quelle que soit la loi de fermeture.

Supposons maintenant que la fermeture soit complète pour la valeur t_1 de t, de sorte que $\lambda(t_1) = 0$. On aura alors en posant

$$m = \frac{4}{(1+\alpha)(1+\beta)} - 1$$

pour $t \geqq t_1 + 3\theta$,

$$\xi(t) + m[\xi(t-\theta) + \xi(t-2\theta)] + \xi(t-3\theta) = 0.$$

Si nous nous bornons à considérer le coup de bélier en fin de période et si nous désignons par ξ'_n le coup de bélier à la fin de la $n^{\text{ième}}$ période, l'équation précédente devient

$$(1) \qquad \xi'_n + m(\xi'_{n-1} + \xi'_{n-2}) + \xi'_{n-3} = 0.$$

Nous poserons alors

$$(2) \qquad u_n = \xi'_n + p\xi'_{n-1} + q\xi'_{n-2},$$

$$(3) \qquad u_n + k u_{n-1} = 0.$$

Pour que les valeurs de ξ'_n déduites de (2) et de (3) soient identiques à celle qu'on déduirait de (1), il faut qu'on ait

$$q = \frac{1}{k}, \qquad p = m - k,$$

$$1 - mk + mk^2 - k^3 = (1-k)[1 - (m-1)k + k^2] = 0.$$

D'ailleurs, comme nous supposons

$$0 < \alpha < 1, \qquad 0 < \beta < 1,$$

on a

$$0 < m < 3.$$

On pourra donc poser

$$\cos\lambda = \frac{m-1}{2},$$

et l'on aura alors les trois solutions

$$k = 1, \qquad q = 1, \qquad p = 2\cos\lambda$$

et

$$k = \cos\lambda \pm i\sin\lambda, \qquad q = \cos\lambda \mp i\sin\lambda,$$

$$p = 2\cos\frac{\lambda}{2}\left(\cos\frac{\lambda}{2} \mp i\sin\frac{\lambda}{2}\right).$$

Si alors $h\theta$ est le multiple de θ égal ou immédiatement supérieur à $t_1 + 3\theta$ [1], on aura, en vertu de l'équation (3),

$$u_{n+h} = (-1)^n k^n u_h.$$

Si alors on donne à k, p et q les trois systèmes de valeurs indiquées plus

---

[1] De sorte que

$$\lambda(h\theta - 3\theta) = 0.$$

haut, on aura trois équations entre ξ'_{n+h}, ξ'_{n+h-1}, ξ'_{n+h-2} qui permettront, quelle que soit la valeur de u, de calculer ces trois quantités en fonctions de ξ'_h, ξ'_{h-1}, ξ'_{h-2}.

On obtient ainsi

$$\xi'_{n+h-1} = (-1)^{n-1}\left[-\xi'_{h-1} + (\xi'_h + \xi'_{h-1})\frac{\sin\frac{n+1}{2}\lambda\sin\frac{n}{2}\lambda}{\sin\lambda\sin\frac{\lambda}{2}} + (\xi'_{h-1} + \xi'_{h-2})\frac{\sin\frac{n\lambda}{2}\sin\frac{n-1}{2}\lambda}{\sin\lambda\sin\frac{\lambda}{2}}\right].$$

Dans le cas d'une fermeture brusque, on a

$$h = 3 \quad \text{avec} \quad \xi'_1 = \frac{av_0}{g}, \quad \xi'_2 = \frac{av_0}{g}\,\frac{3\alpha - 1}{1+\alpha}, \quad \xi'_3 = \frac{av_0}{g}\left(1 - \frac{4m\alpha}{1+\alpha}\right),$$

et la formule précédente donne

$$\xi'_{n+2} = (-1)^{n-1}\frac{av_0}{g}\left[1 - \frac{4\alpha}{1+\alpha}\,\frac{\sin\frac{n+2}{2}\lambda\sin\frac{n+1}{2}\lambda}{\sin\lambda\sin\frac{\lambda}{2}}\right],$$

ce qui est la formule donnée dans ma Communication du 19 mai 1913, où l'on a seulement changé n en $n+2$ et remplacé λ par $\frac{\lambda}{2}$.

ÉLECTIONS.

L'Académie procède, par la voie du scrutin, à l'élection d'un membre du *Conseil de la Fondation Loutreuil* en remplacement de M. *Émile Picard*, élu Secrétaire perpétuel.

M. C. **Jordan** réunit la majorité des suffrages.

CORRESPONDANCE.

M. le **Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts** invite l'Académie à lui présenter une liste de deux candidats à chacune des

places vacantes, au Bureau des longitudes, par suite du décès de M. le général *Bassot* et de celui de M. *Darboux*.

MM. **F. Gonnard**, **J. Guyot** adressent des remercîments pour les distinctions que l'Académie a accordées à leurs travaux.

M. le Directeur de l'**École nationale supérieure des Mines** adresse des remercîments pour la subvention qui a été accordée, en 1916, à cet établissement par le Conseil de la *Fondation Loutreuil*.

M. **Jean Billon** prie l'Académie de vouloir bien le compter au nombre des candidats à la place d'essayeur vacante à l'*Administration des Monnaies*.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° *Rapport sur la reconnaissance hydrographique de l'embouchure de la Gironde, exécutée en* 1912, par M. E. Fichot. (Présenté par M. Lallemand.)

2° Plusieurs brochures de M. L. Favé, dont une en collaboration avec M. Rollet de l'Isle.

PHYSIQUE. — *Contribution à l'étude des séries* L *des éléments de poids atomique élevé*. Note [1] de MM. **R. Ledoux-Lebard** et **A. Dauvillier**, présentée par M. Villard.

Quelque incertitude paraissant régner sur la structure des séries L des atomes de poids élevé, nous avons étudié celles du tungstène, du platine, de l'or et, incidemment, de l'iridium.

Il semblerait *a priori* que, pour des éléments de nombres atomiques aussi voisins, ces séries dussent être semblables. Cependant Moseley [2] décrit cinq radiations caractéristiques L appartenant au platine et Barnes [3] sept raies dans le spectre L du tungstène du tube Coolidge.

---

(1) Séance du 23 avril 1917.

(2) *Philosophical Magazine*, 1913.

(3) *Philosophical Magazine*, 1915, p. 368.

Nous avons trouvé que ces séries débutent, du côté des courtes longueurs d'ondes, par un doublet dont la radiation de plus haute fréquence régit toute la série au point de vue de la vitesse minimum que doivent posséder les électrons pour l'exciter. De plus, elles comprennent neuf raies spectrales qui se montrent tout à fait indépendantes du mode de génération des électrons (tubes à afflux cathodique ou tubes Coolidge à pure émission électronique).

Nous avons vérifié la première conséquence sur le tube Coolidge par la méthode qui nous avait déjà permis de déceler la tension d'apparition de la série K du tungstène ([1]). Suivant l'hypothèse du quantum, la série Z du tungstène doit apparaître à 11800 volts; or, les analyses spectrales effectuées sous les tensions statiques de 10 et 11 kilovolts ne décèlent aucune raie et celles-ci apparaissent toutes à 12 kilovolts. De plus, le sélénium indique un rayonnement sensible à partir de 11 kilovolts présentant un accroissement brusque vers 12 kilovolts, et croissant alors beaucoup plus vite que ne l'indique la loi de la quatrième puissance de la vitesse des électrons.

Nous avions observé alors une courbe fréquence-voltage s'écartant de la droite théorique $h\nu = eV$. Nous avons reconnu depuis que cet effet était dû à une mesure incorrecte de la tension (éclateur à boules imparfait) et nous avons trouvé que jusqu'à la limite des expériences, soit 110000 volts, la relation linéaire est bien vérifiée. Nous avons depuis étendu ce résultat jusqu'à 110 kilovolts au platine du tube Chabaud-Villard et jusqu'à 60 kilovolts au nickel de nombre atomique beaucoup plus petit ($N = 28$). La théorie des quanta se vérifie donc bien, quel que soit l'atome considéré et le mode de production des électrons.

Le spectre du platine a été donné par l'anticathode de platine iridié du tube Chabaud-Villard. Nous avons pu y déceler nettement 13 raies. Pour distinguer celles de l'iridium de celles du platine nous avons utilisé notre connaissance préalable de la série L du tungstène en faisant usage de la relation de Moseley traduite graphiquement.

Les résultats vérifient cette relation $\nu = A(N - 7,4)^2$ (ν étant la fréquence, N le nombre atomique du radiateur et A une constante) pour la raie intense de plus grande longueur d'onde (α), mais les autres radiations se placent sur des courbes à grand rayon qui s'écartent progressivement vers les hautes fréquences lorsque N augmente. Nous avions déjà signalé un fait analogue à propos des séries K du tungstène et du platine ([2]) et nous avons observé le même aspect en examinant les fréquences des radiations M décrites par Siegbahn ([3]) pour les éléments les plus lourds, et la relation devient alors $\nu = A''(N - 20)^2$.

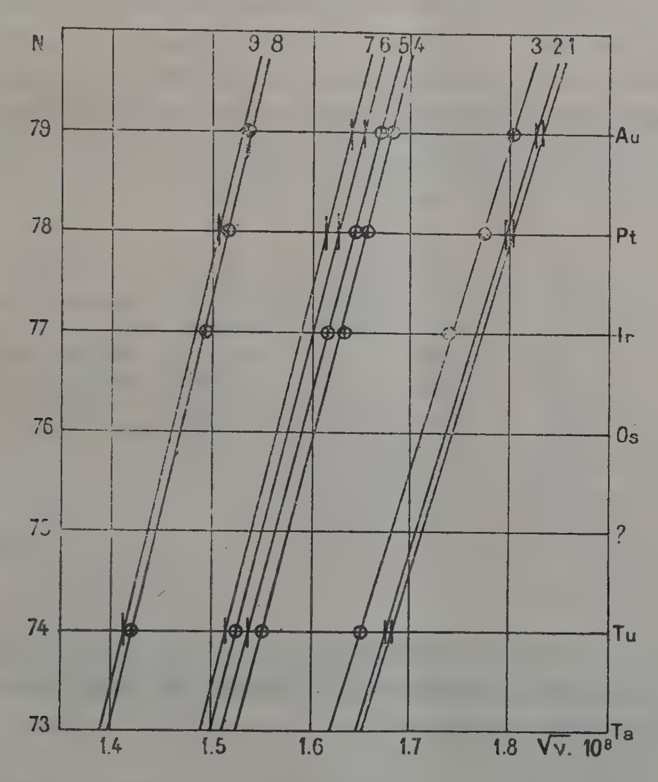
([1]) *Comptes rendus*, t. **163**, 1916, p. 754.

([2]) *Comptes rendus*, t. **162**, 1916, p. 787.

([3]) La série K du platine comprend 4 raies assemblées en deux doublets; nous avons observé :

$\lambda_{\alpha_1} = 0,186.10^{-8}$ cm (raie forte), $\lambda_{\beta_1} = 0,158$ (raie forte),
$\lambda_{\alpha_2} = 0,180$ (raie très forte), $\lambda_{\beta_2} = 0,154$ (raie très faible).

Les séries du tungstène, de l'iridium et du platine sont représentées graphiquement dans la figure qui traduit la relation de Moseley, les nombres atomiques des radiateurs étant portés en ordonnées et les racines carrées des fréquences des radiations en abscisses. Celles du tungstène et du platine y sont entières; seules les plus fortes raies de l'iridium sont apparues, la proportion de ce métal dans l'anticathode n'étant que d'environ 15 pour 100.



On voit que toutes les radiations des séries paraissent se placer sur des droites concourantes, mais cet aspect n'est dû qu'à l'échelle du dessin. Les radiations intenses étant entourées d'un cercle, il apparaît immédiatement ce phénomène inattendu que les raies homologues de la partie centrale des séries ne sont pas semblables en intensité. Les radiations centrales intenses du tungstène étant 4 et 6, les raies correspondantes de l'iridium et du platine sont 4 et 5.

Pour nous assurer de ce fait nous avons étudié la série L de l'or qui présente les constituants indiqués sur la figure. Les deux radiations intenses sont très nettement

les raies 4 et 5. La raie très faible 9 n'est pas apparue à cause de la faible énergie dépensée dans le tube.

Le Tableau ci-dessous résume les résultats obtenus, les longueurs d'onde y sont exprimées en unités Angström (10^{-8} cm) et sont exactes à $\pm \frac{5}{1000}$ près. Comparés à ceux que nous avons obtenus en étudiant les séries K du platine et du tungstène et à ceux de Siegbahn (*loc. cit.*) ils vérifient les deux relations que l'on peut déduire de la théorie de Kossel ([1]). Le fait que les raies de la série K sont des doublets pourrait s'expliquer en imaginant deux orbites voisines pour les électrons dont la trajectoire est désignée par 2 et 3. Nous n'avons cependant jamais observé de doublet γ dans cette série et en outre ce schéma simple ne rendrait pas compte de la structure compliquée de la série L.

	Tu.	Ir.	Pt.	Au.	Remarques.
1......	1,062	»	0,922	0,894	Doublet faible.
2......	1,067	»	0,930	0,900	
3......	1,101	0,993	0,953	0,922	Raie intense.
4......	1,250	1,128	1,097	1,066	Raie très intense.
5......	1,269	1,151	1,113	1,078	»
6......	1,290	»	1,135	1,100	»
7......	1,309	»	1,151	1,124	»
8......	1,492	1,345	1,305	1,272	Raie intense.
9......	1,504	»	1,317	»	Raie très faible.

MÉDECINE. — *Du traitement des hémorroïdes par les courants de haute fréquence.* Note ([2]) de M. **Maxime Ménard**, présentée par M. d'Arsonval.

La thérapeutique par les courants de haute fréquence (*d'Arsonvalisation*) est extrêmement efficace dans le traitement des hémorroïdes (Doumer).

Convenablement appliquée, cette méthode permet le plus souvent d'éviter aux malades une intervention chirurgicale. Grâce à elle, nous avons pu rendre rapidement au service armé des hommes qui eussent été, sans cela, longtemps immobilisés ou rendus inaptes.

Les résultats que je consigne dans cette Note portent sur 528 cas, tant

---

([1]) Bohr, *Philosophical Magazine*, septembre 1915, p. 394.

([2]) Séance du 23 avril 1917.

civils que militaires. Dans ce relevé nous ne comprenons pas les malades atteints de fissure anale, cette affection si douloureuse nous paraissant mériter une étude spéciale.

Voici les observations résumées d'un certain nombre de malades :

Observation I. — Commandant A..., 43 ans. Deux poussées hémorroïdaires depuis le début de la campagne. Crises de constipation assez fréquentes. Envoyé à Cochin le 5 mai 1915. Tumeur hémorroïdaire de la grosseur d'un œuf. Difficulté pour marcher et surtout pour s'asseoir.

Deux applications de haute fréquence le premier jour et une séance chacun des cinq jours qui suivent. Dès le troisième jour le malade ne souffre plus en allant à la selle et quand il marche. Après quinze séances faites en trois semaines, le malade est guéri. A regagné le front le 20 juin 1915, la guérison se maintient encore actuellement.

Observation II. — R... (Lucien), 38 ans, soldat en traitement à l'hôpital auxiliaire de Champrosay pour une affection pulmonaire.

A eu plusieurs poussées hémorroïdaires, « au moins dix », dit-il, la première à l'âge de 23 ans.

Actuellement tumeur hémorroïdaire de la grosseur d'une noix, hémorragie à chaque selle. Prolapsus de la muqueuse rectale après les selles, suintement sanguinolent deux ou trois fois par mois.

Traitement commencé le 3 juin 1916. Séances trois fois par semaine. Disparition de la tumeur hémorroïdaire en dix séances, diminution du prolapsus de la muqueuse rectale.

Cinq semaines après le début du traitement, disparition du prolapsus de la muqueuse rectale. La constipation semble avoir disparu. Guérison maintenue actuellement.

Observation III. — S... (Louis), médecin auxiliaire, 25 ans. Poussée hémorroïdaire datant de trois jours. Pas de selle depuis 48 heures. Hémorroïdes formant une tumeur du volume d'un œuf. Vives douleurs. Deux applications de haute fréquence le premier jour. Les douleurs sont insignifiantes; dès le lendemain, le malade peut aller à la selle sans douleur.

Douze séances en trois semaines. Traitement commencé le 2 juin 1915. La guérison se maintient encore actuellement malgré un service très actif.

Observation IV. — P... (Pierre), 27 ans, lieutenant. Hémorroïdes externes, très douloureuses, peu volumineuses. Début du traitement : 10 janvier 1916. Séances tous les jours. A la dixième séance la guérison est obtenue et les douleurs disparaissent 48 heures après le début du traitement.

Observation V. — B... (Louis), 42 ans, infirmier. A eu de très nombreuses crises hémorroïdaires, accompagnées de suintement sanguin assez abondant et assez fréquent, deux à trois par mois. Actuellement, tumeur hémorroïdaire du volume d'une mandarine.

Traitement commencé le 4 juin 1916. Disparition des douleurs après la troisième

séance, une séance est faite chaque jour pendant 10 jours. A partir du 16 juin deux séances par semaine, date à laquelle nous ne constatons qu'un léger prolapsus de la muqueuse rectale. Cessation du traitement. Le malade reprend son service.

Observation VI. — T... (Louis), sergent, 24 ans. Hémorroïdes externes, pas d'hémorroïdes internes. Traitement commencé le 10 avril 1916 et terminé le 21 avril. Sept applications de haute fréquence. Guérison.

Nous pourrions citer d'autres observations, mais elles rappelleraient seulement celles que nous venons de citer. Les plus anciennes, celles qui remontent à 1900, nous apprennent que nombreux sont les malades qui restent guéris depuis cette date.

Les résultats obtenus dans notre pratique personnelle, qui portent sur plus de 500 cas, nous permettent de dire que :

1° Au point de vue du prolapsus ancien de la muqueuse rectale, l'action de la haute fréquence donne des résultats très satisfaisants qui se traduisent par une diminution très nette du prolapsus. D'après notre statistique l'amélioration à ce point de vue spécial est de 85 pour 100, tandis que la guérison est de 55 pour 100.

2° Au point de vue des hémorragies, celles-ci s'arrêtent dans presque tous les cas, à l'exception de certains hémorroïdaires qui ont eu de très nombreuses crises et chez lesquels l'amélioration seule est obtenue.

Les courants de haute fréquence ont une action certaine et décisive :

1° Sur les phénomènes inflammatoires qui accompagnent en général les hémorroïdes;

2° Sur la douleur, qui est généralement calmée dès la première séance et qui disparaît complètement dans les 48 heures;

3° Sur le prolapsus de la muqueuse rectale chez les malades qui n'ont eu qu'une ou deux crises hémorroïdaires.

Enfin, tous les malades traités dès leur première crise d'hémorroïdes ont guéri rapidement et n'ont pas eu les ennuis des complications dont nous parlions précédemment, c'est-à-dire le prolapsus de la muqueuse rectale et l'hémorragie.

Nos conclusions sont :

1° La méthode de traitement des hémorroïdes par les courants de haute fréquence est une méthode de choix, d'une part par son innocuité absolue et d'autre part par les guérisons qu'elle est capable de donner.

2° Le traitement des hémorroïdes par les courants de haute fréquence permet le plus souvent d'éviter aux malades une opération chirurgicale.

MÉDECINE. — *La durée des surdités de guerre.* Note de M. **Marage**, présentée par M. Delage.

On a dit, il y a quelque temps [1], que 98 pour 100 des surdités de guerre guérissaient spontanément; si cette affirmation était exacte, il faudrait s'en réjouir, car l'on n'aurait plus à rééduquer que les 2 pour 100 regardés comme incurables.

Mais je ferai remarquer que l'on a oublié d'indiquer le degré des surdités, leur nature et le temps qui s'est écoulé entre la blessure et la guérison.

Il me semble donc utile de reprendre l'étude de cette question.

Il convient d'abord de bien définir le sujet :

On donne le nom de « surdités de guerre » aux hypoacousies produites par l'explosion d'un obus de gros calibre, sans aucun traumatisme direct par éclat métallique ou autre.

Ces surdités sont dues à trois causes (statistique de 241 cas) :

1° Des lésions de l'oreille moyenne seule (18 pour 100);

2° Des lésions de l'oreille moyenne et de l'oreille interne, en comprenant, sous le nom d'*oreille interne*, l'oreille interne anatomique et les origines réelles du nerf acoustique dans les centres cérébraux (57 pour 100) ;

3° Des commotions de l'oreille interne sans lésions apparentes (25 pour 100).

Or les ruptures du tympan ne guérissent spontanément que dans les milieux aseptiques, ce qui est plutôt rare sur le champ de bataille.

De plus, après la guérison clinique, surtout s'il y a eu suppuration, l'audition ne revient pas seule à la normale. Il reste une surdité plus ou moins prononcée, mais qui est très gênante pour les officiers, les sous-officiers et les téléphonistes.

Donc voilà déjà les trois quarts des surdités de guerre qui ne guérissent pas spontanément.

---

[1] Val-de-Grâce : Réunion des chefs de centres otorhinolaryngologiques.

Examinons maintenant les 25 pour 100 qui restent, c'est-à-dire les surdités, sans lésions apparentes, dues à des commotions de l'oreille interne.

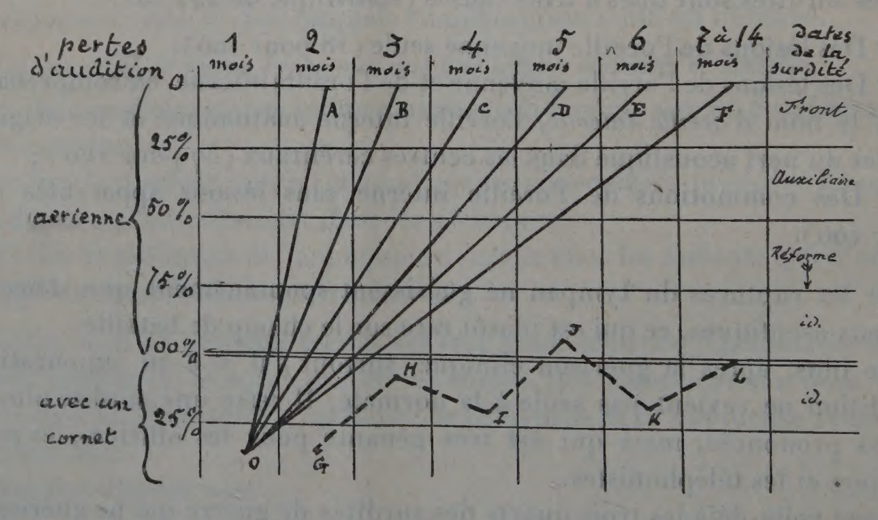
Deux écoles sont en présence :

1° Pour les uns, ces surdités sont tellement graves qu'elles sont incurables, et *qu'il est inutile de les rééduquer*. On le prouve en disant que des lapins, soumis aux explosions d'obus de gros calibre, ont présenté des destructions complètes du labyrinthe.

Je ferai remarquer que la boîte cranienne des lapins est bien moins résistante que le crâne humain et que, par conséquent, on ne peut conclure du lapin à l'homme.

2° Pour la deuxième école, toutes les surdités de guerre guérissent spontanément dans la proportion de 98 pour 100. Il suffit d'attendre. Mais la conclusion est la même : *il ne faut pas rééduquer*. Pour trancher cette question, je vais examiner ce qui se passe en réalité.

Si 98 pour 100 des surdités de guerre guérissaient avec le temps, on devrait trouver des surdités de plus en plus légères à mesure que l'époque de la blessure est plus éloignée.



Donc, si l'on porte en abscisses les dates des blessures, en ordonnées les pertes d'audition, les améliorations que l'on dit se produire régulièrement devraient être représentées par les droites O... A, B, C, D, E, F, suivant le mois de la guérison.

Malheureusement, lorsqu'on prend les moyennes des acuités auditives des soldats sourds depuis des époques comprises entre 2 et 14 mois, on constate que ces moyennes sont sensiblement constantes; elles sont représentées sur la figure par la ligne pointillée G...L; il ne semble donc pas, en considérant le graphique ci-joint, que les surdités de guerre envoyées à la rééducation aient eu tendance à guérir d'elles-mêmes.

J'ajouterai que, dans le service de Bourges, on a toujours eu soin de ne commencer un traitement qu'après avoir mesuré, pendant plusieurs semaines, l'acuité auditive, et s'être assuré qu'il n'y avait pas d'amélioration spontanée : on évitait ainsi l'objection de guérir des blessés qui auraient guéri seuls sans aucun traitement.

Conclusions. — Ou bien 98 pour 100 des surdités de guerre ne guérissent pas spontanément, ou bien les cas traités sont formés des 2 pour 100 regardés comme incurables. Cette seconde alternative est en faveur de la méthode de rééducation, puisque ces 241 cas ont donné 75 pour 100 de succès.

Je ferai enfin remarquer que l'on économiserait des journées d'hôpital en aidant les guérisons spontanées : en temps de guerre cette dernière considération n'est pas négligeable.

A 16 heures et quart l'Académie se forme en Comité secret.

COMITÉ SECRET.

La Section de Géographie et Navigation, par l'organe de M. *Bertin*, remplaçant le Doyen empêché, présente la liste suivante de candidats à la place vacante par le décès de M. *Guyou* :

En première ligne. . . . . M. **Ernest Fournier**

En deuxième ligne, ex æquo et par ordre alphabétique. . . . . MM. **Félix Arago**, **R. Bourgeois**, **Charles Doyère**, **Louis Favé**, **Édouard Perrin**

Les titres de ces candidats sont discutés.
L'élection aura lieu dans la prochaine séance.

La séance est levée à 17 heures.

A. Lx.